

ΑΣΚΗΣΗ-3: Διαφορά φάσης

Ημερομηνία:

ΤΜΗΜΑ: ΟΜΑΔΑ:

Όνομ/νυμο:.....Α.Μ.....

Συνεργάτες

Όνομ/νυμο:.....Α.Μ.....

Όνομ/νυμο:.....Α.Μ.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ (καθένας με δικά του λόγια, σε όλες τις γραμμές)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

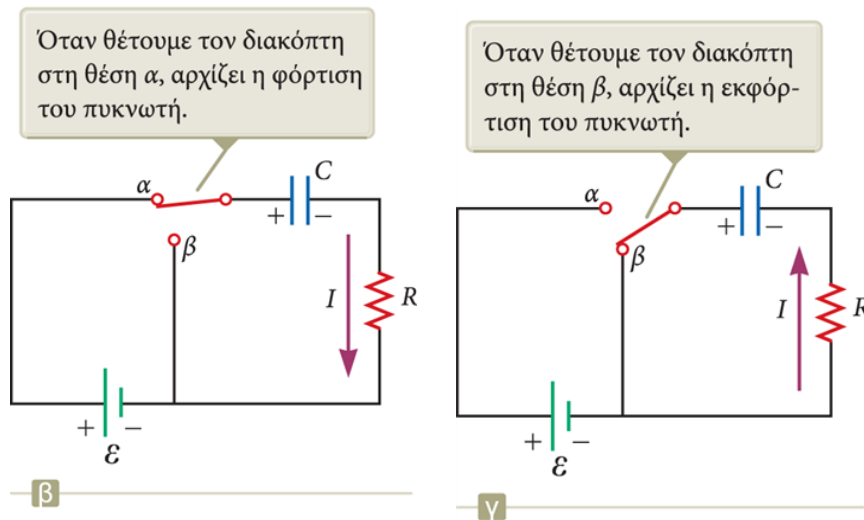
.....

ΒΑΘΜΟΣ#1: **ΥΠΟΓΡΑΦΗ:**

ΣΤΟΧΟΙ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ: Χρήση παλμογράφου για την μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ των κυματομορφών της ημιτονοειδούς τάσης εισόδου και τάσης εξόδου σε RC κύκλωμα με σύνδεση σεράς.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Κύκλωμα RC ονομάζεται το κύκλωμα που περιλαμβάνει έναν αντιστάτη και έναν πυκνωτή σε σειρά:



Μέτρηση με παλμογράφο της τάσης εξόδου ενός RC κυκλώματος με ημιτονοειδή τάση εισόδου

Κάθε παλμογράφος έχει δύο διαφορετικά κανάλια εισόδου (CH1, CH2) που απεικονίζουν, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, την χρονική μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού (τάσης) των 2 σημάτων εισόδου. **Ο παλμογράφος δεν μετρά ρεύμα, και επομένως κάθε κανάλι του πρέπει να συνδέεται όπως ένα βολτόμετρο (παράλληλη σύνδεση).**

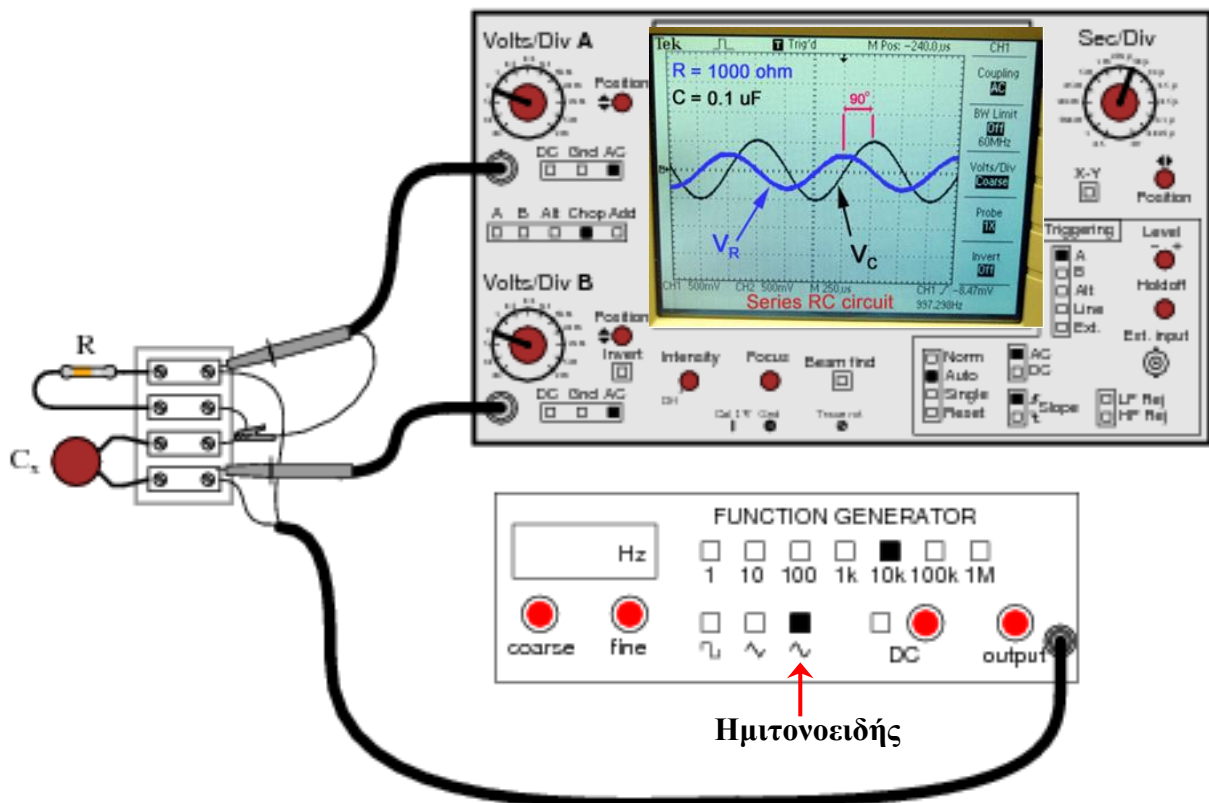
Η οθόνη ενός παλμογράφου απεικονίζει στον κατακόρυφο άξονα (**y-άξονα**) το πλάτος της **τάσης** σε κάθε κανάλι και στον οριζόντιο άξονα (**x-άξονα**) το **χρόνο** σάρωσης της δέσμης ηλεκτρονίων του παλμογράφου.

Μια γεννήτρια συχνοτήτων τροφοδοτεί το RC κύκλωμα με ημιτονοειδή τάση $V_S(t)$. Η έξοδος της τάσης στα άκρα της R είναι η $V_R(t)$ και η έξοδος στα άκρα του πυκνωτή είναι η $V_C(t)$.

- Τα δύο διαφορετικά κανάλια (CH1, CH2) απεικονίζουν την χρονική μεταβολή του δυναμικού $V_R(t)$ στα άκρα της αντίστασης R, π.χ. στο CH1, και της τάσης $V_C(t)$ στα άκρα του πυκνωτή με χωρητικότητα C, π.χ. στο CH2, και της ημιτονοειδούς τάσης $V_S(t)$ είτε στο CH1 ή στο CH2.
- Η οθόνη του παλμογράφου απεικονίζει στον **κατακόρυφο** άξονα τη μεταβολή της **τάσης** $V_S(t)$ ή $V_R(t)$ ή $V_C(t)$ από το κάθε κανάλι και στον **οριζόντιο** άξονα το **χρόνο** φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή. Ο επιλογέας "Time/Div." ορίζει τη μονάδα ή **βάση χρόνου-β** που καθορίζει ότι κάθε υποδιαίρεση (κουτάκι) στον οριζόντιο άξονα έχει αυτή τη μονάδα μέτρησης χρόνου.
- Τα $V_R(t)$ και $V_C(t)$ δίνονται από τις σχέσεις:

$$V_R(t) = (R)i(t) \quad \text{και} \quad V_C(t) = \left(\frac{1}{C}\right)q(t)$$

όπου η $V_R(t)$ είναι **ανάλογη** της χρονικής μεταβολής του ρεύματος $i(t)$ στο κύκλωμα και η $V_C(t)$ είναι **ανάλογη** της χρονικής μεταβολής του ηλεκτρικού φορτίου $q(t)$ στον πυκνωτή.

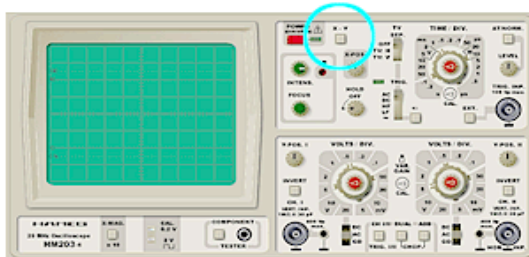


Σχ.1 Το RC κύκλωμα σε σειρά, με τις αντίστοιχες συνδέσεις των σημάτων εισόδου $V_R(t)$ και $V_C(t)$ στα 2 κανάλια ενός παλμογράφου για την επίδειξη των μεταβολών του δυναμικού στα άκρα της αντίστασης R , στο CH1 (το A), και στα άκρα του πυκνωτή, στο CH2 (το B). Πατώντας το κουμπί DUAL mode στον παλμογράφο εμφανίζονται ταυτόχρονα στην οθόνη τα πλάτη των $V_R(t)$ και $V_C(t)$. Η γεννήτρια συχνοτήτων (Function Generator) τροφοδοτεί μια ημιτονοειδή τάση εισόδου στο RC κύκλωμα. Παρατηρήστε τον τρόπο σύνδεσης των καλωδίων με τα στοιχεία του κυκλώματος (τα 3 μαύρα καλώδια είναι BNC).

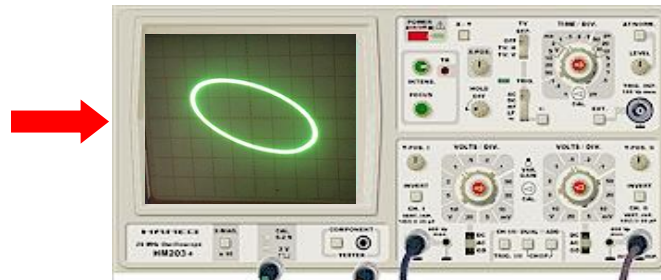
Μέτρηση με παλμογράφο της διαφοράς φάσης από τα σχήματα Lissajous

Ο επιλογέας X-Y λειτουργεί ως εξής:

X-Y



Σχήματα "Lissajous"

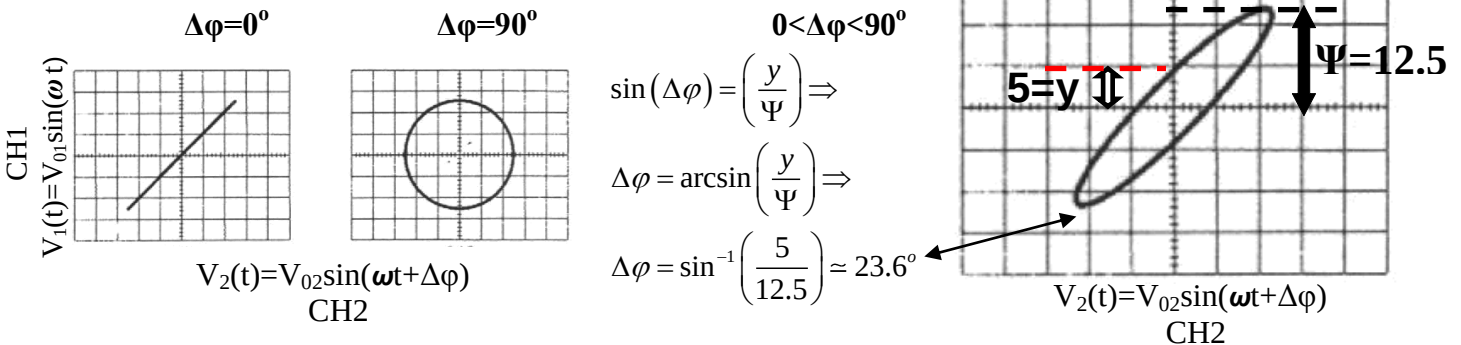


Όταν πατηθεί το κουμπί "X-Y" τότε το σήμα της μεταβαλλόμενης τάσης από το **CH2 αντιστοιχεί στον οριζόντιο άξονα** της οθόνης και το σήμα της μεταβαλλόμενης τάσης από το **CH1 αντιστοιχεί στον κατακόρυφο άξονα**.

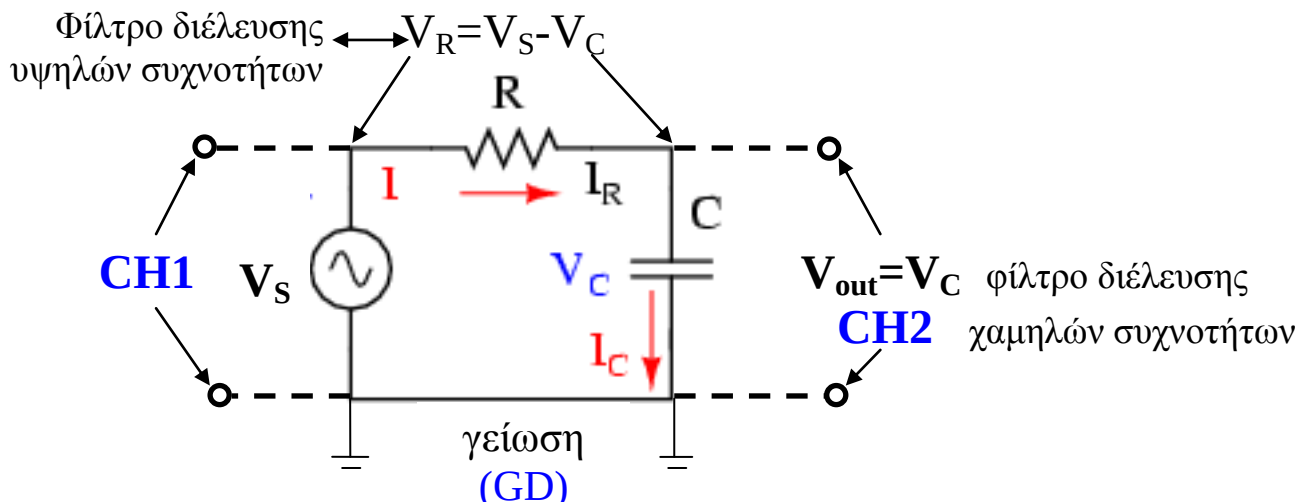
Εφαρμόζοντας 2 διαφορετικά ημιτονοειδή σήματα ως τάση εισόδου στο CH1 και στο CH2, και έχοντας το κουμπί "X-Y" πατημένο, εμφανίζεται στην οθόνη το ίχνος του σήματος από την σύνθετη κίνηση δύο ταλαντώσεων, μιας στη διεύθυνση του οριζόντιου άξονα και μιας δεύτερης στη διεύθυνση του κατακόρυφου άξονα (απαλείφεται ο κοινός άξονας του χρόνου από το CH1 και το CH2).

Σχήματα "Lissajous" και μέτρηση διαφοράς φάσης $\Delta\phi$ με παλμογράφο

Η συνισταμένη κίνηση του ίχνους της δέσμης που προκύπτει από τη σύνθεση της ταλάντωσης δύο ημιτονοειδών σημάτων: $V_1(t)=V_{01}\sin(\omega_1 t)$ και $V_2(t)=V_{02}\sin(\omega_2 t+\Delta\phi)$ δημιουργεί στην οθόνη τα σχήματα "Lissajous", από τα οποία μπορούν να μετρηθούν η διαφορά φάσης $\Delta\phi$ και ο λόγος των συχνοτήτων ω_1/ω_2 μεταξύ των 2 σημάτων εισόδου. Αν τα 2 σήματα εισόδου έχουν **ίσες συχνότητες** ($\omega_1=\omega_2$), **διαφορετικά πλάτη** ($V_{01}\neq V_{02}$) και **διαφορά φάσης $\Delta\phi\neq 0$** τότε το ίχνος της δέσμης σχηματίζει ένα σχήμα "Lissajous" στην οθόνη που είναι **έλλειψη**, και από αυτό μπορεί να καθοριστεί η τιμή της $\Delta\phi$. Στην περίπτωση που η $\Delta\phi=0^\circ$ το σχήμα "Lissajous" στην οθόνη είναι **ευθεία** ενώ όταν $V_{01}=V_{02}=V_0$ και $\Delta\phi=90^\circ$ είναι **κύκλος**.



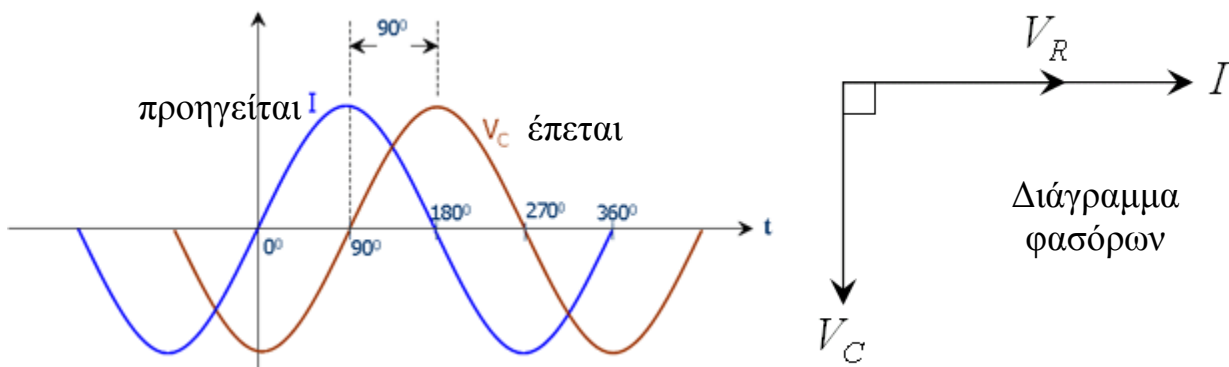
Απόκριση κυκλώματος RC με σύνδεση σειράς σε ημιτονοειδή τάση εισόδου.



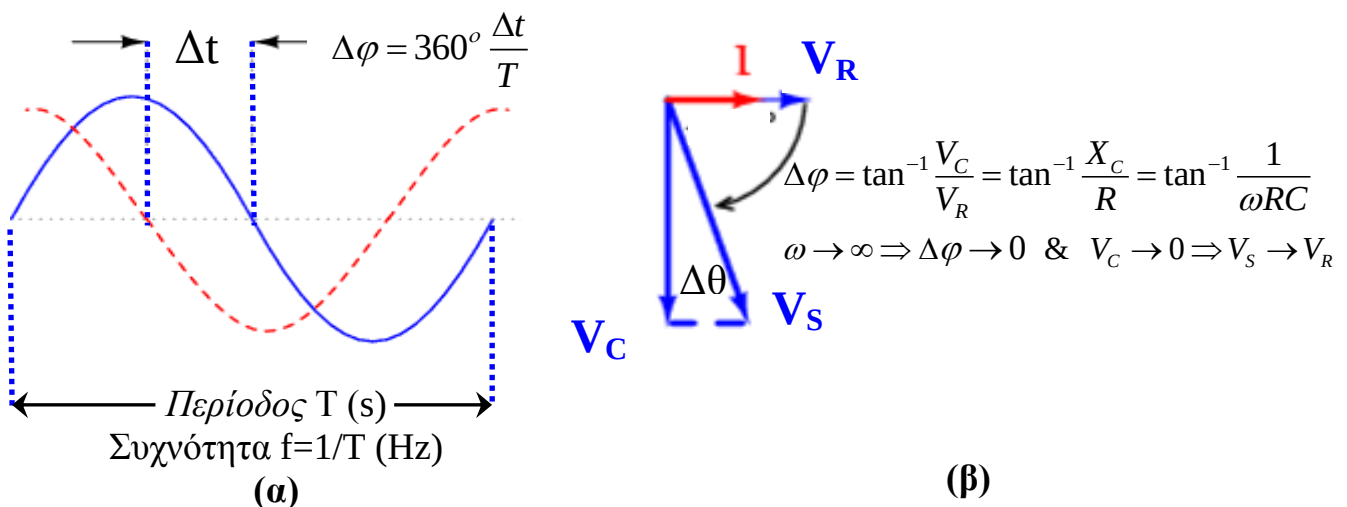
Σε ένα RC κύκλωμα με σύνδεση σε σειρά ισχύουν τα εξής:

- Η τάση εξόδου στα άκρα της R : $V_R(t)=V_S(t)-V_C(t)$, δεν έχει απευθείας σύνδεση στη γείωση (GD), όπως έχουν οι $V_C(t)$ και $V_S(t)$.
- Το ίδιο ρεύμα $I(t)$ διαρρέει κάθε στιγμή τα R και C : $I(t)=I_R(t)=I_C(t)$
- Το ρεύμα $I(t)$ είναι η μόνη ποσότητα που είναι κοινή σε όλα τα στοιχεία του κυκλώματος (AC πηγή τάσης, αντίσταση R , πυκνωτή με χωρητικότητα C) και χρησιμοποιείται σαν σημείο αναφοράς για το μηδέν της φάσης στον οριζόντιο άξονα.
- Η $V_R(t)=I(t)R=I_R(t)R$, έχει την ίδια φάση με το ρεύμα $I(t)$. Το σχήμα 1β δείχνει γιατί το RC κύκλωμα δρα ως **φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων** όταν η έξοδος $V_{out}=V_R$ είναι στα άκρα της R .
- Ο πυκνωτής έχει σύνθετη αντίσταση $Z_C=-j/\omega C=-jX_C$, και από διαιρέτη τάσης στα άκρα του πυκνωτή η $V_C=(Z_C/Z_{ολ})V_S=V_S/(1+j\omega RC)$. Επομένως: $\lim_{\omega \rightarrow 0}(V_C)=V_S$, και τότε το ίδιο RC κύκλωμα δρα ως **φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων** όταν η έξοδος $V_{out}=V_C$ είναι στα άκρα του πυκνωτή.

- Ανάλυση με φάσορες δίνει: $|V_C| = |V_S| / (1 + \omega^2 R^2 C^2)^{1/2} \Rightarrow |V_C| = |V_S| / (1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}$, οπότε από τη συνθήκη αποκοπής: $\omega^2 \tau^2 = 1$, προκύπτει η *γωνιακή συχνότητα* αποκοπής: $\omega_0 = 1/\tau = 1/RC$ (η συχνότητα αποκοπής $f_0 = 1/2\pi\tau$). Η τ μετρείται από την φόρτιση-εκφόρτιση πυκνωτή σύμφωνα με τα προαναφερόμενα.
- Επομένως πρέπει να επιλεγούν στην παλμογεννήτρια συχνότητες, που είναι η πηγή τάσης $V_S(t) = V_{\max} \sin(\omega t)$, συχνότητες $\omega < \omega_0 = 1/\tau = 1/RC$, για να παρατηρηθεί στην οθόνη του παλμογράφου ένα σήμα εξόδου: $V_{\text{out}} = V_C \neq 0$, στα άκρα του πυκνωτή.
- Η φάση της V_C ως προς το ρεύμα I ($= V_R/R$) καθορίζεται από τη σχέση φασόρων: $V_C = IZ_C$, όπου $Z_C = -jX_C$ και $-j = \exp(-90^\circ) = \exp(-\pi/2)$, οπότε η $\Delta\theta = -90^\circ$ πάντοτε ως προς το ρεύμα I . **Επομένως το ρεύμα I και η V_R προηγείται πάντα κατά $\pi/2 = 90^\circ$ της V_C .**



- Οι τάσεις $V_C(t)$ και $V_S(t)$ μετρούνται ως προς την κοινή τους γείωση (GD) και έτσι είναι ευκολότερο να απεικονιστούν μαζί στην οθόνη του παλμογράφου οι κυματομορφές τους. Στο μιγαδικό επίπεδο (διάγραμμα φασόρων), η V_S είναι το διάνυσμα της συνισταμένης των V_R (οριζόντιος άξονας των πραγματικών αριθμών) και V_C (κατακόρυφος άξονας των φανταστικών αριθμών). Η διαφορά φάσης μεταξύ του V_R και του V_C είναι πάντοτε: $-90^\circ = -\pi/2$, οπότε η υποτείνουσα V_S σχηματίζει γωνία $\Delta\theta$ ($-90^\circ < \Delta\theta < 0^\circ$) με την V_C και γωνία $\Delta\phi = -90^\circ + \Delta\theta$ με την V_R .
- Ο προσδιορισμός της διαφορά φάσης των τάσεων εξόδου V_R και V_C γίνεται πάντοτε ως προς το κοινό σήμα εισόδου V_S . **Επειδή η εξόδος V_R προηγείται πάντα της εισόδου V_S η $\Delta\phi > 0$ μεταξύ τους, ενώ επειδή η εξόδος V_C έπεται πάντα της εισόδου V_S η $\Delta\theta < 0$ μεταξύ τους.**



Σχ.1 (α) Μέτρηση της διαφοράς φάσης ($\Delta\phi > 0$) μεταξύ της εξόδου $V_R(t)$ και της εισόδου $V_S(t)$, και (β) τα διανύσματα των τάσεων και του ρεύματος στο μιγαδικό επίπεδο.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

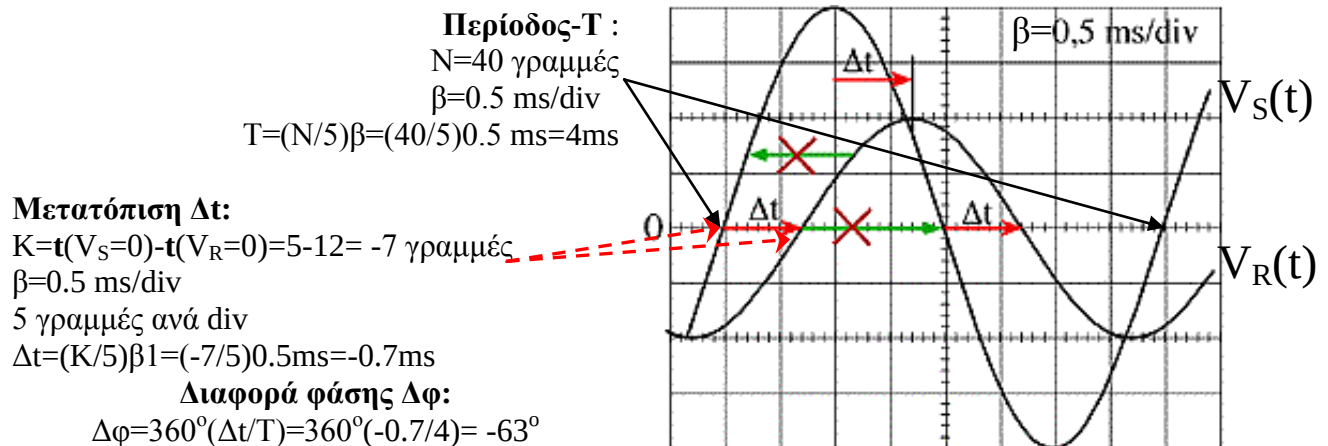
1. Παλμογεννήτρια ημιτονοειδών και τετραγωνικών συναρτήσεων διαφόρων συχνοτήτων. Είναι η πηγή τάσης $V_S(t)$ στο κύκλωμα RC.
2. Παλμογράφος 2 καναλιών.
3. Καλώδια BNC
4. Κύκλωμα με σύνδεση σε σειρά ενός πυκνωτής και μιας ηλεκτρικής αντίστασης.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

A. Εφαρμογή ημιτονοειδούς σήματος ως τάση εισόδου στο κύκλωμα RC

- Συνδέστε την τάση $V_R(t)$ στο CH1 και την $V_S(t)$ στο CH2 και τοποθετήστε το διακόπτη της παλμογεννήτριας στην ένδειξη της ημιτονοειδούς συνάρτησης, επιλέγοντας μια συχνότητα $f > f_0$ (επειδή όταν μετράμε την έξοδο στην R τότε το RC κύκλωμα δρά ως υψηλοπερατό φίλτρο). Πατήστε το κουμπί dual του παλμογράφου ώστε να εμφανιστούν και τα 2 σήματα στην οθόνη.
- Με τον βηματικό επιλογέα "Time/Div." επιλέξτε τη κατάλληλη ένδειξη στη βάση χρόνου-β του παλμογράφου έτσι ώστε και τα δύο σήματα από τα CH1 και CH2 να διακρίνονται ολόκληρα για μια περίοδο T. Για τα δύο κανάλια εισόδου (CH1, CH2) που μετρούν Volts/cm θέστε τους δύο βηματικούς επιλογείς "Volts/Div." στην ίδια ένδειξη ώστε οι κορυφές peak-to-peak των 2 σημάτων να είναι εντός της οθόνης. Όλοι οι εσωτερικοί επιλογείς (κύλισης) να είναι στραμμένοι τέρμα αριστερά.
- Αντιγράψτε στο μιλιμετρέ χαρτί τις δύο κυματομορφές $V_S(t)$ και $V_R(t)$ της οθόνης με την ίδια κλίμακα όπως του παλμογράφου. Σημειώστε στο διάγραμμα τη βάση χρόνου-β του παλμογράφου στο "Time/Div.", (π.χ. 2ms/div) και την ένδειξη του βηματικού επιλογέα από τα CH1 και CH2 (Volts/cm). Όπως δείχνει το Σχ.1α, πρέπει να παρατηρείτε στην οθόνη την ημιτονοειδή συνάρτηση της $V_R(t)$ να είναι μετατοπισμένη οριζόντια κατά Δt ως προς αυτήν της $V_S(t)$. Τα διαγράμματα αυτά δίνουν: (i) τη χρονική περίοδο-T όπως ορίζεται στο Σχ.1α, (ii) την σχετική μετατόπιση Δt και (iii) την διαφορά φάσης: $\Delta\phi=360^\circ(\Delta t/T)$, μεταξύ των δύο κυματομορφών, όπως εξηγείται στο Σχ.1α. Να σημειώσετε στο μιλιμετρέ χαρτί ποια κυματομορφή προηγείται της άλλης.
- Πρώτα υπολογίστε την περίοδο-T σε μια από τις δύο κυματομορφές, μετρώντας τον αριθμό N των γραμμών (όχι τα κουτάκια) μεταξύ δύο διαδοχικών μηδενισμών της ίδιας κυματομορφής, οπότε η περίοδος είναι: $T=(N/5)\beta$, όπως στο παρακάτω παράδειγμα.
- Υπολογίστε τη μετατόπιση Δt και από αυτή την $\Delta\phi$, μετρώντας τον αριθμό K των γραμμών (όχι τα κουτάκια) μεταξύ της κοντινότερης απόστασης μηδενισμού της τάσης των δύο διαφορετικών κυματομορφών, όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

Παράδειγμα μέτρησης της περιόδου-T και της σχετικής μετατόπισης Δt

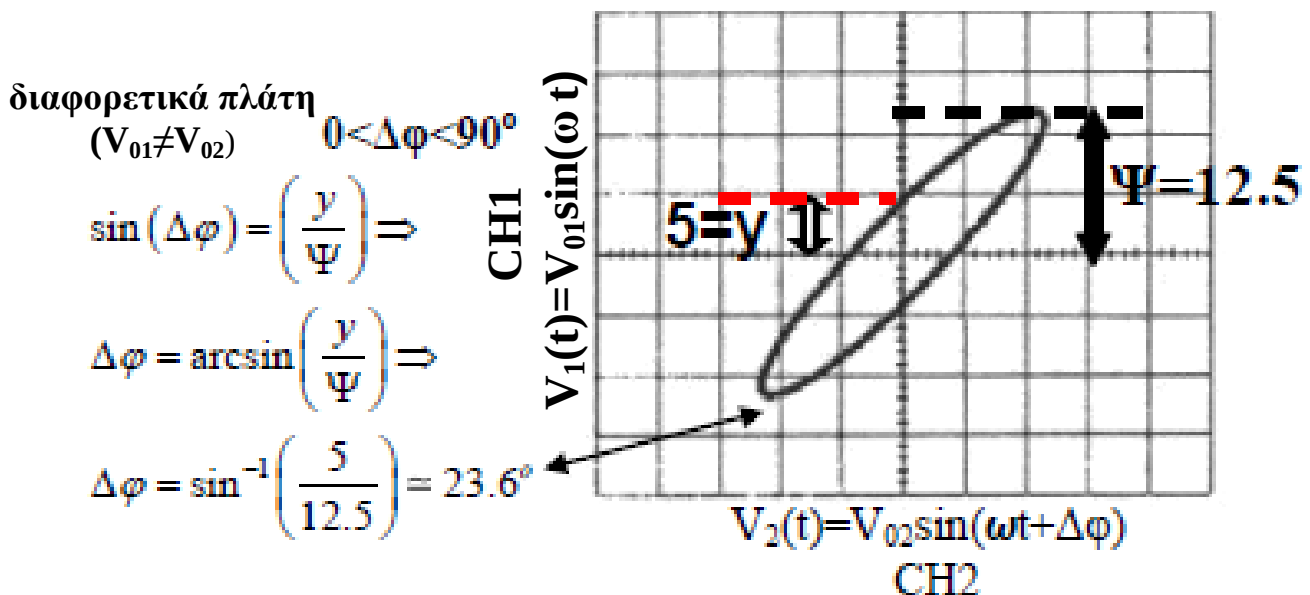


- Επαναλάβετε τα ίδια με το παραπάνω παράδειγμα στις δικές σας μετρήσεις και γράψτε τα αποτελέσματά σας στο ίδιο μιλιμετρέ χαρτί που σχεδιάσατε τις 2 κυματομορφές.

B. Μέτρηση της Δφ από τα σχήματα Lissajous

- Πατήστε το κουμπί X-Y του παλμογράφου ώστε να προκύψει ένα σχήμα Lissajous στην οθόνη. Για να εμφανιστεί στο κέντρο της οθόνης μια έλλειψη πρέπει: α) Τα Volts/div να είναι ακριβώς ίδια στο CH1 και στο CH2, β) να ρυθμιστούν οι διακόπτες και στα 2 κανάλια στην ένδειξη DC, γ) να γειωθούν τα 2 κανάλια, πατώντας το κουμπί GD στο CH1 και στο CH2, και να τοποθετηθεί στο κέντρο της οθόνης η κουκίδα που εμφανίζεται (εννοείται ότι για να εμφανιστεί πάλι η έλλειψη τα κουμπιά GD δεν πρέπει να είναι πατημένα).
- Για να μετρηθεί σωστά η διαφορά φάσης Δφ με αυτό τον τρόπο πρέπει η τάση εξόδου V_R να είναι στο κανάλι Y του παλμογράφου, που αντιστοιχεί στο CH1, και η τάση V_S από την είσοδο της παλμογεννήτριας να είναι στο κανάλι X του παλμογράφου, που αντιστοιχεί στο CH2. Επιβεβαιώστε ότι πράγματι η $V_R(t)$ από το CH1 αντιστοιχεί στον κατακόρυφο άξονα του παλμογράφου (Y), πατώντας το κουμπί GD (γείωσης) στο CH1. Αν είναι σωστά, τότε θα παρατηρήσετε μια οριζόντια γραμμή στην οθόνη. Αν εμφανιστεί κατακόρυφη γραμμή τότε αλλάξτε τη σύνδεση της $V_R(t)$ από το CH1 στο CH2, και της $V_S(t)$ από το CH2 στο CH1.
- Αντιγράψτε στο μιλιμετρέ χαρτί σας με την ίδια κλίμακα την έλλειψη που σχηματίζεται στην οθόνη. Μετρήστε τον αριθμό των γραμμών (όχι κουτάκια) y και Ψ , όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα. Υπολογίστε τη Δφ από τη σχέση: $\sin(\Delta\phi)=y/\Psi$. Σημειώστε όλες τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς σας στο μιλιμετρέ χαρτί σας, και συγκρίνετε τη τιμή της Δφ που βρήκατε από το σχήμα Lissajous με τη Δφ που βρήκατε από τη μετατόπιση Δt των δύο ημιτονοειδών συναρτήσεων.

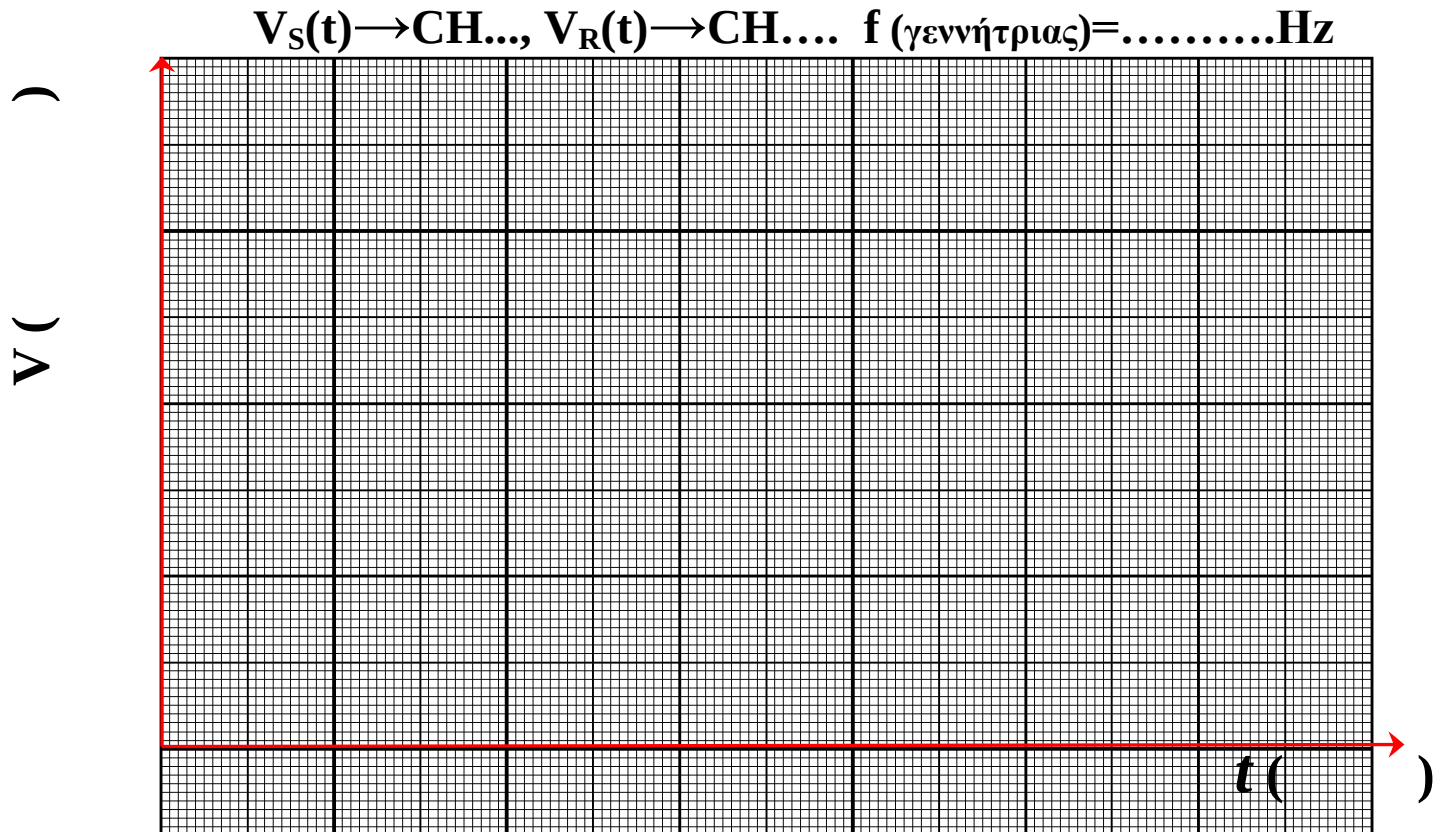
Παράδειγμα μέτρησης της Δφ από το σχήμα Lissajous



ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

A. Εφαρμογή ημιτονοειδούς σήματος ως τάση εισόδου στο κύκλωμα RC

Σχεδιάστε υπό κλίμακα στο ίδιο μιλιμετρέ χαρτί, ότι αναφέρεται στην αντίστοιχη παράγραφο της Διαδικασίας Μετρήσεων, και σημειώστε τις απαντήσεις σας στα κενά σημεία που εμφανίζονται:



‘Volts/div’, CH1 =

‘Volts/div’, CH2 =

Περίοδος-T

N =, β =, $T = (N/5)\beta$ =

Μετατόπιση Δt

K =, β_1 =, $\Delta t = (N/5)\beta_1$ =

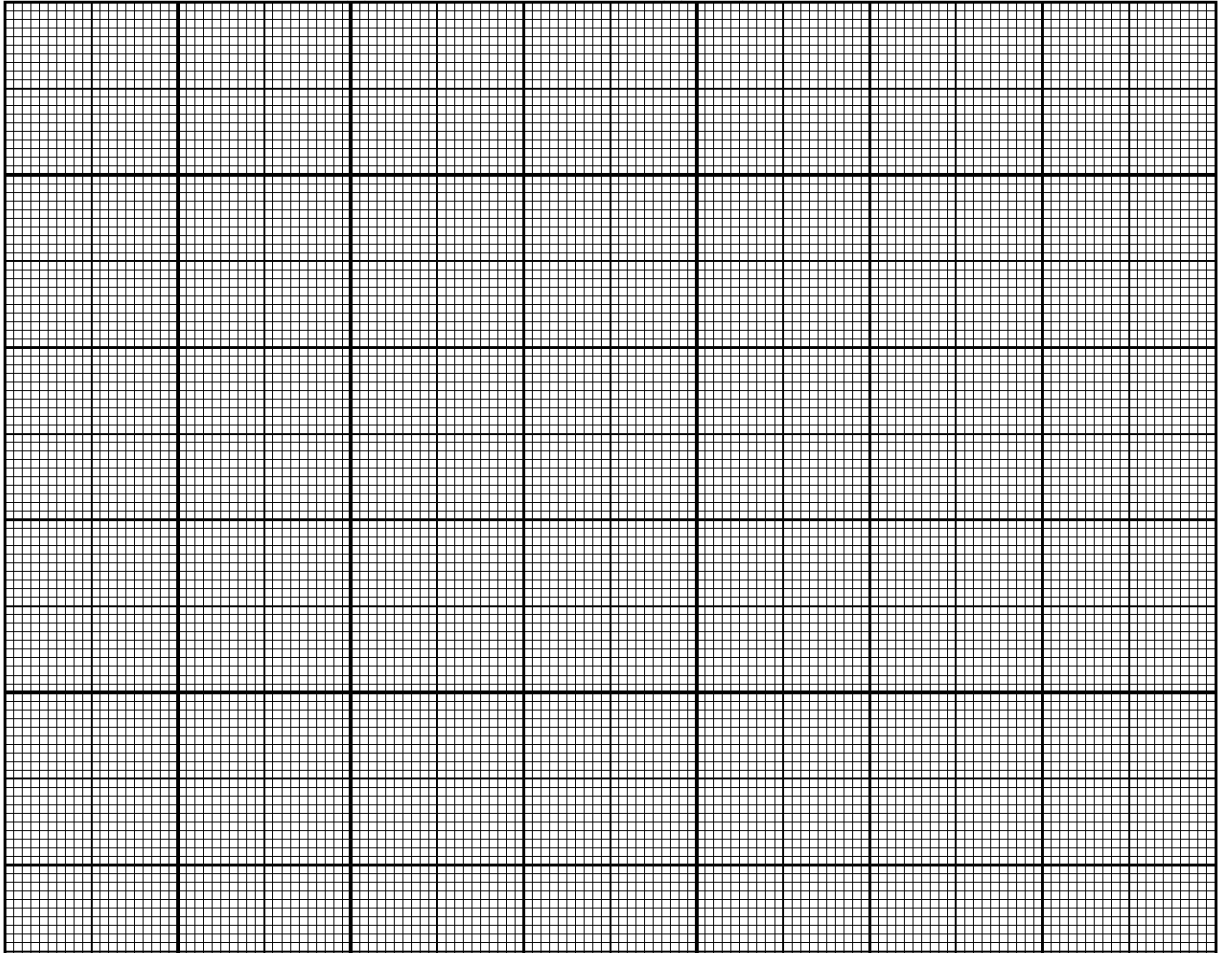
Διαφορά φάσης $\Delta\phi$:

$\Delta\phi = 360^\circ (\Delta t / T) = \dots\dots\dots$

C. Μέτρηση της $\Delta\phi$ από τα σχήματα Lissajous

Σχεδιάστε υπό κλίμακα στο ίδιο μιλιμετρέ χαρτί, ότι αναφέρεται στην αντίστοιχη παράγραφο της Διαδικασίας Μετρήσεων, και σημειώστε τις απαντήσεις σας στα κενά σημεία που εμφανίζονται:

$X \rightarrow CH2 \rightarrow V_S(t)$ $Y \rightarrow CH1 \rightarrow V_R(t)$, $f(\text{γεννήτριας}) = \dots\dots\dots \text{Hz}$



΄Volts/div΄, CH1=.....΄Volts/div΄, CH2=.....

$y = \dots\dots\dots$ γραμμές, $\Psi = \dots\dots\dots$ γραμμές

$\sin(\Delta\phi) = y/\Psi = \dots\dots\dots$

Διαφορά φάσης $\Delta\phi = \sin^{-1}(y/\Psi) = \dots\dots\dots$

Σύγκριση των $\Delta\phi$:

ΒΑΘΜΟΣ#2: ΥΠΟΓΡΑΦΗ:

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ: